Neue Untersuchungen über die Farbenveränderungen von Mineralien durch Strahlungen

Von

C. Doelter

k. M. Akad. Wiss.

(Mit 6 Textfiguren)

(Vorgelegt in der Sitzung am 1. Juli 1920)

Ich habe in früheren Veröffentlichungen[1] über die Farbenveränderungen von Mineralien durch Radium-, Kathoden- und ultraviolette Strahlen berichtet.

Es hatte sich schon damals ergeben, daß nicht alle bestrahlten, einer und derselben Mineralart angehörigen Individuen sich gleichmäßig verändern, wenn auch in vielen Fällen ein solches gleichmäßiges Verhalten konstatiert worden war.

Ich habe mir nun die Aufgabe gestellt, die Mineralien vieler verschiedener Fundorte und auch verschiedene Exemplare eines und desselben Fundortes näher zu untersuchen.

Eine zweite Aufgabe war es, die verschiedenen Stadien im Verfärbungsprozeß näher kennen zu lernen und dann auch die Geschwindigkeit desselben festzustellen.

Was die erste Aufgabe anbelangt, so wurde durch die Untersuchungen der Luminiszenz, verursacht durch ultraviolette und Kathodenstrahlen, nachgewiesen, daß Mineralien

---

[1] Diese Sitzungsber., *117.* 1282 (1908). — Ferner: Das Radium und die Farben. Dresden 1910.

von verschiedenen Fundorten sich nicht immer gleich verhalten, obwohl bei Kathodenstrahlungen häufig auch Exemplare verschiedenen Fundortes sich gleich in bezug auf Luminiszenz verhielten. Siehe darüber die Arbeiten Engelhart's[1] und A. Pocchetino's[2] sowie von C. Baskerville und G. Kunz.[3]

Wenn aber Mineralien von verschiedener Provenienz sich ungleichmäßig verhalten, so zeigt dies, daß die Ursache der Luminiszenz in Beimengungen liegt, was wir übrigens aus den Arbeiten von P. Lenard und anderer geschlossen haben. Reine Stoffe leuchten nicht und nur durch Zugabe gewisser Beimengungen konnte Phosphoreszenz erreicht werden.

Ähnliches dürfte bei den Verfärbungen der Fall sein. Nur solche Mineralien verfärben sich, welche Pigmente enthalten. Allerdings können auch sogenannte reine Präparate kleine Änderungen zeigen: hier ist aber zu berücksichtigen, daß ganz reine Stoffe überhaupt nicht existieren. Da aber die Farbenänderungen und die Färbung überhaupt durch Pigmentbeimengungen minimalster Mengen verursacht sind, welche oft chemisch nicht nachweisbar sind, so kann man annehmen, daß auch die angeblich chemisch reinen Stoffe solche kleinste Beimengungen enthalten können. Dies wird durch die Wahrnehmung bestätigt, daß bei größerer Reinheit die Farbenänderungen auch schwächer werden.

Ich habe dies bereits in früheren Mitteilungen bei Chlornatrium, Zirkonerde, Tonerde nachgewiesen. An und für sich geben sie kein Verfärbungsresultat und das, was färbt, ist ein Pigment, über dessen Verteilung im Körper wir allerdings nicht im klaren sind. Es läßt sich aber behaupten, daß ein ähnlicher Fall vorliegen dürfte wie bei Salzen, denen man kleinste Mengen von organischen Farbstoffen zumengt, wie dies beispielsweise P. Gaubert bei Färbung von Bleinitrat durch Methylenblau annimmt. Es dürfte sich um Adsorptionen handeln.

---

1 F. Engelhart, Inaug.-Dissert. Jena.

2 A. Pocchetino, Z. Kryst., *51*, 113 (1913).

3 C. Baskerville und G. Kunz, Amer. Journ., *18*, 25 (1904/05).

Eine wichtige Frage ist die, ob die Färbung farbloser Mineralien, also das betreffende Pigment, durch Einwirkung der Strahlen erst entsteht (z. B. könnte man an Zerstäubung kolloider Metalle denken) oder ob bereits im unbestrahlten Krystall das Pigment existierte. Beide Möglichkeiten sind nicht abzuweisen. Da jedoch farblose reine Stoffe nur eine ganz geringe oder gar keine Färbung geben, so ist die zweite Annahme doch die wahrscheinlichere. Demnach ist der färbende Bestandteil, das Pigment, als ursprünglicher, also bei der Entstehung des Minerals gleichzeitig gebildeter Bestandteil anzunehmen.

Was die zweite Aufgabe anbelangt, so war sie durch fortlaufende Beobachtung durchzuführen. Es resultiert daraus eine skalenartige Reihenfolge der Verfärbungsgeschwindigkeiten bei einzelnen Mineralien, welche aber, wie es sich nunmehr erweist, nicht mehr wie früher auf die Mineralien in ihrer Gesamtheit, sondern auf die Mineralien verschiedener Fundorte sich bezieht. Man kann also nicht sagen, daß etwa Steinsalz sich langsamer verfärbt als Flußspat, sondern dies gilt nur für Steinsalz und Flußspat gewisser Fundorte, da es z. B. Flußspate gibt, welche sich gar nicht verfärben. Wenn auch die meisten Flußspate sich rascher verfärben als Quarze und die Unterschiede in der Geschwindigkeit sogar sehr große sind, so gibt es doch wieder Flußspate, welche sich überhaupt nicht verfärben, diese also in einer solchen Skala hinter manchem Quarz rangieren. Ebenso gibt es, wie unten gezeigt werden soll, Saphire, welche sich rasch verfärben, aber auch solche, welche gar keine Farbenveränderungen wahrnehmen lassen. Es muß also die von mir 1910 angegebene Skala in dieser Richtung modifiziert werden.

Eine weitere Art der Untersuchung ergab sich aus dem Vergleiche von Krystallen, Spaltungsstücken und körnigen Varietäten. Denn a priori ist auch die Möglichkeit vorhanden, daß sich ein Krystall mit einer anderen Geschwindigkeit verfärbt als ein krystallines Aggregat desselben Stoffes.

Ferner besteht auch die Möglichkeit, daß die Durchdringbarkeit eines Krystalls in verschiedenen Richtungen verschieden

sein kann, daß also die Färbungsgeschwindigkeit in verschiedenen Richtungen verschieden sein könnte.

Es sollen auch in dieser Hinsicht Versuche unternommen werden. Diese Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen und sollen ihre Ergebnisse später zur Veröffentlichung gelangen.

Zur Untersuchung wurden nur einige wenige Mineralarten verwendet, und zwar solche, bei welchen eine markante Verfärbung schon bekannt ist. Es wurden nun die verschiedenen Fundorte dieser Mineralarten untereinander verglichen und ebenso verschiedene Varietäten (namentlich um einen etwaigen Unterschied zwischen Krystallen und krystallinen Varietäten herauszufinden). Ein weiterer Vergleich war in der Richtung der Verfärbungsgeschwindigkeit verschiedener Mineralarten unternommen, wobei also verschiedene Mineralarten gleichzeitig bestrahlt wurden.

Zur Untersuchung gelangten:

Flußspat, Steinsalz, Quarz, Baryt, Apatit, Topas und Saphir. Von diesen wurden verschiedene Fundorte untersucht. Zum Vergleiche wurden auch Cölestin, Kunzit und Phenakit herbeigezogen, um die Verfärbungsgeschwindigkeit zu studieren.

Flußspat.

Von diesem Mineral wurden viele Fundorte geprüft.

Versuchsreihe mit Flußspaten.

Fundort	Farbe vor der Bestrahlung	Nach 3 Tagen	Nach 6 Tagen	Farbe nach Bestrahlung mit ultravioletten Strahlen 5 Stunden	Wiederbestrahlung mit Radiumstrahlen weitere 3 Tage		Nr.
Rabenstein	farblos	20^{q}—21^{p}	21^{p}	—	20^{s}	—	1
Nertschinsk Chlorophan	—	23^{b-c}	24^{b}	—	—	—	3
Amelia Co. Chlorophan	gelbgrau 12^{r}	34^{q}	34^{r}	—	—	—	4
Annaberg	lichtgrünlich	21^{p}	21^{p} und 15^{p} [1]	—	21^{c} und 15^{p}	—	5
Derbyshire [1]	grüner Stich	16^{u}	16^{u}	—	—	—	6
Rumiga	farblos	farblos	31^{s}	—	31^{s}	—	7
Cornwall	grau 16^{i}	16^{k}	—	—	—	—	8
Gersdorf	gelb 7^{u}	6^{k}	6^{k}	10^{r}	—	—	9
Derbyshire	—	19^{f}—22^{c}	23^{h}	—	—	—	10
Cornwall	farblos	18^{l}	23^{c}	21^{l}	19^{q}	—	10^{b}
»	—	18^{m}	18^{m}	farblos	19^{c}	—	11^{a}
Gotthard	rosa 26^{u}	24^{i}	23^{c}	—	21^{c}	—	11^{b}
Ebenau (Appenzell)	16^{r}	21^{o} 3^{g}	—	—	—	—	12
» »	—	16^{n}	16^{l}	—	—	17^{k}	13
» »	—	36^{n}	18^{d}	—	—	—	14
Cumberland	—	20^{o}	21^{d}	21^{f}	—	21^{f}	15
Zinnwald	bläulich 23^{p}	20^{o}	21^{m}	21^{l-m}	—	21^{l-m}	16
Göschen	rosa 26^{p}	24^{m}	23^{m}	—	—	—	17

Die Farbenbestimmung erfolgte wie früher durch die Radde'sche Farbenskala.

Fundort	Farbe vor der Bestrahlung	Nach 3 Tagen	Nach 6 Tagen	Farbe nach Bestrahlung mit ultra-violetten Strahlen 5 Stunden	Wieder-bestrahlung mit Radium-strahlen weitere 3 Tage	Nr.
Sarntal (Tirol)	farblos	40^p	40^p	—	—	19
Wölsendorf (umgeschmolzen)	»	21^p	—	—	—	21
Rabenstein (Tirol)	»	23^k	20^s	23^{n-o}	20^g	2
» »	—	—	—	—	—	24
Laurion	veil 22^o	22^e	22^e	—	—	25
Bases Alpes	farblos, Stich ins Grünliche	15^q—38^n	16^m	—	—	26
Amelia Co. Chlorophan	30^f—32^f	30^d—30^c	—	—	—	
Künstlicher Flußspat (umgeschmolzen)	farblos	21^p	—	—	—	27 28
Rotleberode	farblos	—	20^k	—	—	29
Marienberg	—	—	21^h	—	—	110
Derbyshire II	fast farblos, gelber Stich	—	19^d	—	—	111
Stollberg	farblos	—	16^n	—	—	112
Hakenbach	blauer Stich	—	23^m	—	—	113
Mauerberg	farblos	—	18^c—19^d [1]	—	—	114
Tavitstock	»	—	39^{q-r}	—	—	115

[1] An verschiedenen Stellen ungleich.

Vergleich zwischen Quarzen, Topasen, Hyazinth, Steinsalzen, Apatiten und Kunzit.

I. Quarz, Topas, Saphir, Hyazinth, Steinsalz, Flußspat, Kunzit.

Fundort	Ursprüngliche Farbe	Bestrahlungsdauer mit Radiumstrahlen							Nr.
		1/2 St.	+1 St.	+5 St.	+18 St.	+48 St.	+8 Tage	+8 Tage	
Amethyst Schweiz	farblos	—	—	39l	41q	41r	22c	22h	31
» »	22k—l	—	—	—	—	—	22g	22f	32
Rauchquarz St. Gotthard	entfärbt	—	—	—	—	—	41l	40r	34
» » »	39k	—	—	—	34h	38h	34h	40h	35
Topas Brasil.	22s	—	22r	—	30q	2p	2n	2l	36
» »	5r	—	—	—	6o	5l	5l	5l	37
» »	farblos	—	37s	37r	35r	6m	6m	6m	38
Saphir Ceylon	20g	—	—	—	—	—	—	—	39
» »	20s	—	—	35q [2]	6l	6k	6k	5e	40
Hyazinth Ceylon	29f	—	—	—	—	28e	28d	—	41
» »	32r	—	—	—	33n	3k	2k	29h	41a
Steinsalz Staßfurt	19k	—	—	—	40g [1]	3e	3d	3d	42
» »	farblos	40n	40s	35r	35q	6p	6m	5l	43
» Kalusz	»	22l—n	22s	22s	22s	40n	40n	40n	44
Flußspat Wölsendorf	entfärbt	—	—	—	39q	39p	39p	39n	47a
» »	22g	40n	40s	35r	35q	22e	22d	22d	46
» Cumberland	farblos	—	20q [3]	19o [4]	19g [5]	19f [6]	19f	19f	47
Kunzit S. Diego	22r—23r	—	—	22s	16n	15n	15n—m	15m	48
Bergkrystall Marmaros	farblos	—	—	—	—	—	—	41n	49

[1] Hauptfarbe 40g mit blauen Rändern, bei 3e das blaue Band fast ganz verschwunden. [2] Nach 5 Stunden war 1/4 der Stufe verfärbt (vom Radiumpräparat aus gerechnet). Nach 3 Tagen vollständige Verfärbung. [3] Einwirkung nur an einem einzigen Punkt von Stecknadelgröße, welcher dem Präparat am nächsten gelegen, bemerkbar. [4] Nach 5 Stunden 1/3 der Stufe verfärbt. [5] Die halbe Stufe verfärbt. [6] Die ganze Stufe verfärbt.

Vergleich von Quarzen und Baryten.

Fundort	Beschaffenheit	Ursprüngliche Farbe	Dauer der Bestrahlung			Nr.
			1 Tag	4 Tage	10 Tage	
Quarze						
Maderanertal	Krystall	farblos	—	42^r	33^f	51
Schemnitz	—	blaßlila 42^s	42^r	42^q	42^p	52
»	—	farblos	unverändert	unverändert	unverändert	53
Zinnwald	—	farblos, mit milchweißer Randschale	31^u	31^t	31^n	54
Little Falls N. Y.	Krystall	farblos	34^s	34°	33^c	55
Brasilien	Krystallsplitter	»	unverändert	42^t	32^{p-q}	56
Marmaros II	Krystall	»	»	unverändert	unverändert	
Elba	»	»	»	»	»	58
Island	Chalzedon	40^t	40^s	40^s	40^r	59
Pisek	Krystall	wasserhell	31^u	41^p	34^m	60
Baryte						
Przibram	Krystall	farblos	39°	18^l	18^f	61
Teplitz	Radiobaryt	5^s, am Rande Streifen von 6^p	siehe Zeichnung Fig. 2			62
Felsöbanya	Krystallstock (Täfelchen)	weißlich, trüb durchscheinend	39°	39^m	39^m	63
Cumberland	Krystalltafel	farblos	40^t	41^p	41^m	65

Großer Baryt von Przibram, farblos, an manchen Stellen etwas grau, wird nach 8 Tagen graublau mit dunklen violetten Streifen, abgebildet in Fig. 6 (p. 428). Der dem Präparat näherliegende Teil war mehr violettblau.

Vergleich von Steinsalzen und Apatiten (Cölestin).

	Fundort	Ursprüngliche Farbe	Bestrahlungsdauer						Nr.
			1/2 Stunde	+ 1 Stunde	+ 5 Stunden	+ 18 Stunden	+ 3 Tage	+ 3 Tage	
Steinsalz	Staßfurt	farblos	4^{u}	4^{t}	4^{r}	6^{q}	6^{p}	6^{p}	66
	Friedrichshall .	»	—	4^{v} [1]	4^{v}	4^{t} [2]	5^{t}	5^{r}	67
	Totes Meer ...	»	—	4^{t-u}	4^{u}	5^{q-r}	6^{q}	—	68
	Wieliczka.....	»	4^{u}	4^{t}	6^{q}	6^{q}	6^{q}	—	69
	»	milchweiß	4^{u} [2]	4^{s} [3]	6^{q}	6^{q}	6^{q}	—	70
	Aussee.......	farblos	—	4^{t-u}	6^{r}	6^{q}	6^{p}	—	71
	Ischl.........	»	4^{u}	4^{t}	6°	6°	—	—	72
Apatit	Ashio Mine ...	weiß	—	—	39^{s}	39^{r}	39^{r}	39^{r}	73
	Auburn	»	—	—	—	9^{s}	11^{q-r}	11^{q-r}	74
	»	violett	—	—	22^{s} [4]	10^{q}	11^{r}	11^{r}	75
	Schlaggenwald	»	—	—	39°	39°	39°	39^{n-o}	76
	Knappenwand .	»	—	—	37^{r}	35^{o-n}	33^{h}	$32^{g}-33^{g}$	77
	Bamle........	»	—	—	—	—	—	—	
	Cölestin, Girgenti [1] .	»	—	—	39°	18^{q}	18^{m}	18^{m}	78

[1] Eher unter v. [2] Nur am Rand. [3] Am Rand dunkler. [4] Teilweise farblos.

Vergleich von Topas, Steinsalz, Baryt (Anhydrit), Quarz, Apatit.

Mineral	Fundort	Ursprüngliche Farbe	Bestrahlungsdauer			Nr.
			1 Tag	+ 3 Tage		
Topas..	Rio belmonte, Brasilien	farblos	4^q	4^q		79
»	Schneckenstein	»	5°—5^k	5^{l-m} bis 5^k		80
»	Rio fonto	entfärbt	—	3^l		93
Steinsalz	Wieliczka	farblos	—	6^{l-m} bis 6°	Am Rande, welcher dem Präparat am nächsten, wie 6^l	82
»	Faserig von ebenda	»	6^r	6^p		84
Baryt	Cumberland	»	—	42^i		83
»	Rabenstein	weiß	39^q	20^{q-r}		85
Anhydrit, körnig ...	Wieliczka	farblos	—	—	Nach 3 Wochen unverändert	86
Quarz............	Kormy	»	—	—	» 3 » »	88
»	Krystall, Maderanertal	»	—	—	» 2 » »	89
Beryll	Pisek, gelb	entfärbt	—	—	» 2 » »	92
Flußspat, körnig ...	Stollberg	farblos	40^u	40^{i-k}		87
Apatit............	Bamle	grau	—	—	» 2 » »	90
»	Pisek	entfärbt	—	—		91

Vergleichende Versuche mit Cölestin, Citrin, Topas, Apatit und Sylvin.

Mineral	Fundort	Ursprünglich	Nach 6 Tagen	Nr.
Cölestin	Girgenti	weiß	17^k	103
» [1]...	»	»	17^r	104
Citrin [2].....	Pisek	goldgelb	$22^r - 23^r$	105
Topas......	Hampshire	farblos	2^f	106
»	Debreczin?	entfärbt	2^r	107
Apatit......	Rotenkopf, Zillertal	farblos	33^f	108
»	Floitental	»	33^i	109
Sylvin......	Kalusz	»	21^r	110

[1] Vom Präparat entferntester Teil.
[2] Entfärbt.

Vergleichende Versuche mit Flußspat, Baryt, Apatit.

Mineral	Fundort	Ursprünglich	Nach 6 Tagen	Nr.
Flußspat....	Marienberg	farblos	$18^c - 19^c$ [1]	
»	Tavigstock	»	39^{q-r}	
Baryt	Przibram	farblos, an manchen Stellen etwas grau [1]	20^l	
Apatit......	Auburn	entfärbt, ursprünglich violett	39^{m-n}	

[1] An verschiedenen Stellen verschieden.

Resultate der Versuche.

Aus dem Vergleiche der einzelnen Flußspate von verschiedenen Fundorten geht hervor, daß diese sich bei sonst gleichen Bedingungen sehr verschieden verhalten. Einzelne Flußspate verfärben sich (bei Anwendung von $1^1/_2$ *g* Radiumchlorid) überraschend schnell, so namentlich die Vorkommen von Cornwall und Derbyshire. Auch solche von Cumberland waren zum Teil schnell intensiv gefärbt. Ein Flußspat von Derbyshire war nach einer Stunde intensiv gefärbt. Es gibt aber auch einzelne Vorkommen, welche, wie die Tabelle p. 403—404 zeigt, sich nur schwach in derselben Zeit färben und sogar nach längerer Bestrahlung nur schwach gefärbt sind.

Leider sind die Fundortsbezeichnungen in den Sammlungen und bei Händlern sehr vage, so daß man nicht genau sagen kann, woher die betreffenden Exemplare stammen.

Sehr rasch und intensiv färben sich auch die Chlorophane von Amelia Cy und von Nertschinsk, dann Flußspat von Rotleberode und Marienberg, jener von Gerstorff.

Schwach färbt sich Rabensteiner Flußspat; jener vom Sarntal verfärbt sich fast gar nicht oder nur spurenweise. Wenig verfärbt sich der Rosaflußspat vom Gotthard. Er wird mehr bräunlichrot, ebenso Flußspat von Tavitstock.

Die Quarze verfärben sich im allgemeinen langsamer. Manche nehmen aber nach langer Bestrahlung eine intensiv braune Farbe an wie ein Rutilquarz von Brasilien. Entfärbter Amethyst nimmt allmählich wieder seine ursprüngliche Farbe an. Natürlich gefärbte Amethyste werden etwas mehr violbraun. Manche Quarze wurden nicht gefärbt, wie der von Marmaros und einzelne vom Maderanertal, während andere von dort braun werden. Ebenso verhalten sich verschiedene brasilianische Quarze sehr verschieden, manche verfärben sich stark, andere bleiben hellbraun.

Jedenfalls sind die Quarze viel widerstandsfähiger als die Flußspate.

Steinsalz verfärbt sich im allgemeinen rasch und nur ganz wenige Vorkommen färben sich nur schwach, z. B. das

von Friedrichshall. Die Intensität ist aber bei gleicher Bestrahlungsdauer verschieden.

Saphire auch von demselben (allerdings meistens sehr allgemein gehaltenen) Fundorte verhalten sich sehr verschieden. Einzelne Ceyloner werden rasch gelb, andere verhalten sich ganz widerstandsfähig. Der Saphir von der Iserwiese bleibt unverändert dunkelblau.

Auch Topase verhalten sich ungleich; am schnellsten scheint sich der Schneckensteiner zu verfärben. Die brasilianischen zeigen große Unterschiede. Sehr intensiv verfärbt sich der von Hampshire, während der Nertschinsker sich weniger verfärbt.

Apatite verfärben sich nicht alle; so war einer von Bamle unverändert und auch ein Piseker. Dagegen verfärbten sich stark jener von der Knappenwand und jener vom Floitental und Rotenkopf. Sehr merkwürdig war das Verhalten jener von Auburn. Sie verfärben sich nach Entfärbung durch Hitze, jedoch nicht intensiv; dabei wurde ein Exemplar wieder violett, ein anderes gelb und ein anderes mehr grün.

Vergleich der einzelnen Mineralarten in bezug auf Verfärbungsgeschwindigkeit und Farbenintensität.

Ein Vergleich ist, wie aus dem früher Mitgeteilten ersichtlich, nur so möglich, daß man bei jeder Mineralart einzelne Exemplare von bestimmten Fundorten vergleicht und dann bei jeder Mineralart wieder die einzelnen Exemplare von verschiedenen Fundorten untereinander vergleicht. Die Vergleiche können sich also nicht auf die Mineralarten im allgemeinen, sondern nur auf solche von gewissen Fundorten beziehen.

Die Vergleiche können sich auf die Geschwindigkeit der ersten Verfärbung beziehen oder aber auch auf die Intensität der Verfärbung nach einer für alle Mineralien gleichen Art der Bestrahlung während einer bestimmten Zeit, welche lang genug sein muß, um überhaupt eine genügende Veränderung zu ermöglichen, denn die Geschwindigkeit der Farbenveränderung ist ja eine sehr verschiedene.

Versuche, die Geschwindigkeit des Farbenumschlages, beziehungsweise eine beginnende Veränderung betreffend.

Am besten ließ sich dies durch Beobachtung der ersten leisesten Veränderung bei farblosen Krystallen bewerkstelligen. Es wurden zwar auch, wie aus den oben angegebenen Versuchsresultaten hervorgeht, die erste Farbenveränderung, beziehungsweise die Zeit gemessen, in welcher eine solche eintritt, jedoch läßt sich am besten die Zeit vergleichen, innerhalb welcher die erste Farbe bei farblosen Krystallen eintritt.

Es wurden zu diesem Zwecke größere Platten von Krystallen hergestellt, die alle dieselbe Dicke hatten, nämlich 5 *mm*. Dies war notwendig, um einen exakten Vergleich zu ermöglichen.

Es wäre auch wünschenswert gewesen, allen Platten gleiche Fläche zu geben; dies war aber leider nicht genau durchführbar, da manche Mineralarten nicht in so großen Krystallen vorkommen, daß sie in den nötigen Dimensionen zu beschaffen gewesen wären. Die Platten hatten ungefähr die Dimension 25 × 10 bis 12 *mm*, wovon jedoch der Saphir, welcher in solchen Platten nicht verschaffbar war, eine Ausnahme machte. Dieser hatte nur die Dimensionen 5 × 10 *mm*.

Es wurden folgende Mineralarten untersucht: Saphir, Topas, Quarz, Steinsalz, Flußspat, Baryt, Kunzit. Von den beiden erstgenannten wurden zwei Platten verschiedener Dicke untersucht, beide von Ouro preto, Brasilien. Von Quarz ebenfalls zwei, der eine von Little Falls, der andere vom Maderanertal. Alle diese Mineralien waren farblos oder nahezu farblos mit Ausnahme des Kunzits, welcher seine natürliche Rosafarbe besaß, jedoch durch Erhitzen auf zirka 500° farblos gemacht wurde.

Es wurden dann von einer halben Stunde zu einer halben Stunde Beobachtungen gemacht, dann in größeren Intervallen, wobei es sich ergab, daß nach höchstens zirka 24 Stunden alle Platten eine leise Färbung bereits erreicht hatten.

Diese Platten wurden dann noch durch 3 Tage exponiert, wobei es sich ergab, daß alle intensiv, aber in sehr verschiedenem Maße gefärbt waren.

Die einzelnen Daten sind in nachstehender Tabelle verzeichnet.

Als Resultat dieser Versuchsreihe ergibt sich, daß in bezug auf die Verfärbungsgeschwindigkeit das Steinsalz von Wieliczka die größte besitzt, denn schon nach einer halben Stunde wurde bei diesem eine Spur von Färbung entdeckt. Nach $2^{3}/_{4}$ Stunden zeigen kleinste Veränderungen:

Quarz von Little Falls, Fluorit von Cumberland, Topas von Ouro preto.

Diese drei Mineralien zeigten gleichzeitig die erste Farbe. Hierauf folgt Baryt von Cumberland.

Quarz vom Maderanertal und Saphir von Ceylon zeigten erst nach 9 Stunden die erste Veränderung, ebenso ein zweiter brasilianischer Topas erst nach 19 Stunden, während Kunzit erst nach 34 Stunden sich verändert.

Es ergibt sich daher dafür die Reihenfolge:

Steinsalz (Wieliczka);
Quarz (Little Falls), Fluorit (Cumberland), Topas (Brasilien);
Topas I (Brasilien);
Baryt (Cumberland);
Saphir (Ceylon);
Quarz (Maderanertal);
Topas II (Brasilien);
Kunzit.

Die Beobachtungen zeigen aber auch, daß, wenn man die Intensität der Farbe bestimmt, die Reihenfolge anders verläuft.

Nach 9 Stunden ist Saphir am meisten gefärbt, dann folgen Steinsalz (Wieliczka), Fluorit und die dünne Topasplatte. Erst dann kommen Baryt und schließlich Quarz von Little Falls.

Nach 34, beziehungsweise 37 Stunden verhält sich die Sache wieder anders. An der Spitze steht dann Fluorit, es folgt Saphir, dann kommen Wieliczka-Steinsalz, Baryt, Kunzit, Topas dünne Platte, während die dicke Platte sogar nach Steinsalz kommt. Die letzten Mineralien sind die Quarze von Little Falls und schließlich der vom Maderanertal, welcher noch immer keine deutliche Farbe zeigt.

Mineralart	Fundort	Bestrahlungsdauer									
		1/2	1	1 1/2	2	2 3/4	3 1/2	5	9	13	19
Quarz......	Maderanertal	—	—	—	—	—	—	viol schimmernd			—
»	Little Falls	—	—	—	—	bräunlich schimmernd	41^{u}	41^{u}	41^{u}	—	—
Saphir......	Ceylon	—	—	—	—	—	—	—	4^{r}	—	—
Steinsalz ...	Wieliczka	Schimmer	an den Kanten gelblich	gelblich		35^{u}	35^{t}	35^{t}	35^{t}	—	—
Fluorit	Cumberland	—	—	—	—	blau schimmernd			19^{t}	—	—
Baryt	»	—	—	—	—	—	Schimmer	23^{t-u}	23^{t-u}	—	—
Topas [1]	Ouro preto	—	—	—	—	Schimmer	Schimmer	39^{t}	39^{t}	—	—
Kunzit	S. Diego	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Topas......	Brasilien	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3^{t}

[1] Diese Topasplatte hatte eine Dicke von nur 3 *mm*.

in Stunden											Nr.
24	28	34	37	42	52	57	60	75	180	195	
unverändert				—	41^{u}	41^{u}	—	41^{u}	—	33^{p}	7
41^{u}	41^{u}	41^{u}	—	—	41^{u}	41^{t}	—	41^{t}	—	33^{n}	6
5^{q}	6^{q}	6^{p}	—	—	6°	6^{o-n}	—	6^{n}	—	5^{m}	2
6^{t}	6^{s}	5^{r-s}	—	—	6^{r-q}	6^{q}	—	6^{q-p}	—	6^{m-n}	5
19^{q}	19°	19°	—	—	19^{m}	19^{m-l}	—	19^{k}	—	19^{f}	1
23^{t-u}	23^{t-u}	23^{t}	—	—	23^{t}	23^{t}	—	—	—	$22^{s}-23^{s}$	9
36^{t-u}	36^{t-u}	36^{t}	—	—	35^{t}	35^{t}	—	4^{r}	—	33^{n}	3
—	—	grün-lich	17^{t}	17^{s}	—	—	16^{r-q}	—	16^{n-m}	—	4
—	—	—	3^{s}	3^{s}	—	—	4^{r}	—	33^{q-r}	—	8

Nach 57, beziehungsweise 60 Stunden ist wieder Fluorit der erste, hierauf Saphir, Steinsalz, Topas (dicke Platte), Kunzit. An diese reihen sich an: Baryt, Topas (dünne Platte), Quarz von Little Falls, schließlich Quarz vom Maderanertal.

Nehmen wir die letzte Beobachtung, so ist 1. wieder Fluorit an der Spitze, dann kommen gleichmäßig gefärbt: 2. Kunzit, Saphir, Steinsalz. Hierauf folgen: 3. Quarz von Little Falls und Topas (dünne Platte). Schließlich haben wir: 4. Quarz vom Maderanertal, dann noch 5. schwächer gefärbt: Topas (dicke Platte) und 6. als letzten: Baryt.

Berücksichtigt man, daß die dünne Platte jedenfalls eine stärkere Färbung zeigen würde, wenn sie 5 *mm* dick wäre, so muß man zu dem Schlusse gelangen, daß dann vielleicht gleich nach Steinsalz dieser Topas folgen würde.

Kunzit, zuerst der letzte, rückt vor und bei langer Beobachtung dürfte er vielleicht der erste sein.

Graphische Darstellung.

Es wurde der Versuch gemacht, die vorhin erwähnten Daten bezüglich der Geschwindigkeit der Verfärbung graphisch darzustellen. Es ist jedoch, da die Verfärbung in zwei Richtungen fortschreitet, dies nicht möglich, da dazu drei Achsen notwendig wären. Es wurde, um die Resultate auf einer Ebene darzustellen, daher nur die Intensität berücksichtigt nach den Daten der Radde'schen Farbenskala, bei welcher *a* den dunkelsten Ton, *u* den schwächsten der betreffenden Farbe gibt. Diese Intensitäten wurden auf der Abszisse, die Zeit dagegen auf der Ordinate aufgetragen.

Der Topas von Brasilien wurde nur in der 5 *mm* dicken Platte berücksichtigt, die Daten bezüglich der dünneren Platte von 3 *mm* dagegen weggelassen.

Daraus ergibt sich ein ungefähres Bild aber nur in bezug auf Intensität, so daß dieses in einer Richtung ein ungünstiges ist, wie z. B. sich bei Kunzit zeigt, da nur das Dunklerwerden und nicht der Umschlag in Grün dargestellt ist.

Der Ostwald'sche Atlas, welcher ja viel rationeller ist, konnte nicht angewendet werden, da ich mir wegen seines

hohen Preises diesen nicht anschaffen konnte und derselbe in Wien nur in ganz wenig Exemplaren vorhanden ist, die auf längere Zeit nicht ausgeliehen werden.

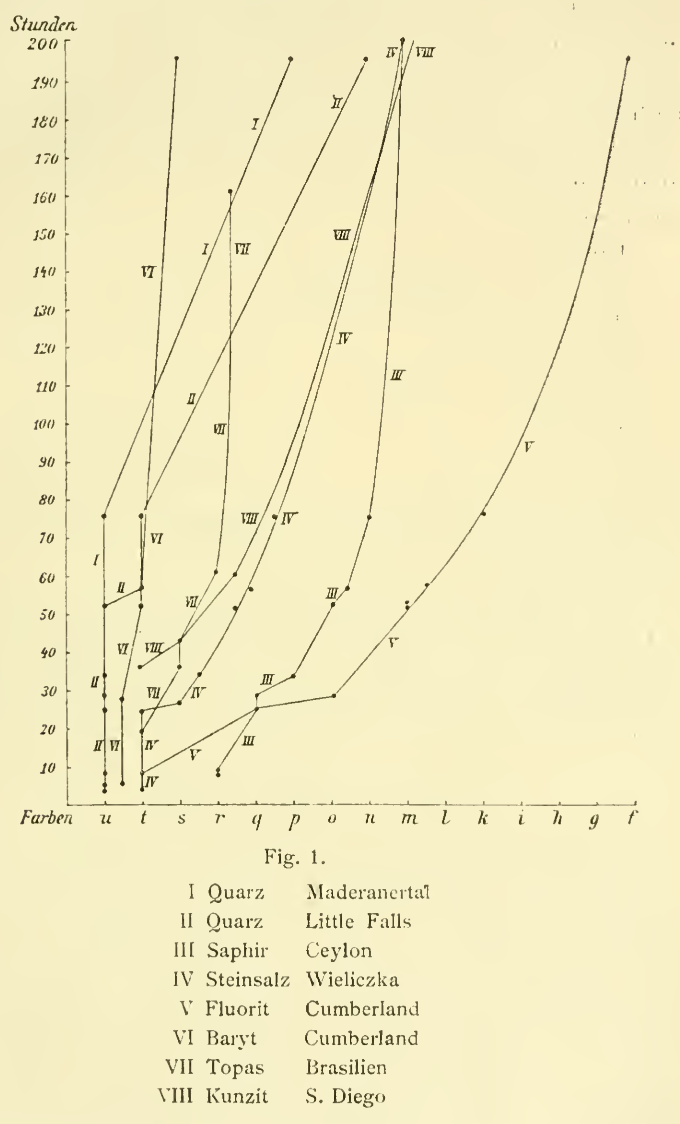


Fig. 1.

I Quarz Maderanertal
II Quarz Little Falls
III Saphir Ceylon
IV Steinsalz Wieliczka
V Fluorit Cumberland
VI Baryt Cumberland
VII Topas Brasilien
VIII Kunzit S. Diego

Es hätte hier auch der Farbenumschlag zur Darstellung gelangen können, was nach der Radde'schen Skala nicht möglich ist.

Vergleich der Intensität der Verfärbungen.

Ein solcher Vergleich ist leider nur bei gleichmäßiger Bestrahlungsdauer approximativ möglich, dadurch, daß man mit der Farbentabelle die Farben vergleicht. Solche Vergleiche habe ich bereits vor Jahren angestellt[1] und veröffentlicht. Die Reihenfolge, welche ich damals durch gleichzeitige Bestrahlung erhielt, welche Bestrahlung durch Wochen andauerte, so daß man von Endfarben sprechen konnte, ergab sechs Farbenintensitätsstufen:

Kunzit;
Steinsalz, Saphir, Flußspat;
Topas, Hyazinth;
Rauchquarz, Rosenquarz, Citrin;
Aquamarin, Hiddenit;
Diamant.

Bei dem letztgenannten Mineral war die Verfärbung eine ganz geringfügige.

Das angewandte Präparat enthielt $^1/_2$ *g* Radiumchlorid. Dauer 30 Tage.

Bei den jetzigen Untersuchungen war der Versuch nur 9 Tage fortgesetzt worden, so daß man trotz der Stärke des Präparates ($1^1/_2$ *g*) vielleicht noch nicht von Endfarben sprechen kann. Nun haben wir aber gesehen, daß der Gang der Verfärbung bei den einzelnen Mineralien sehr verschieden ist, so daß die Reihenfolge nach wenigen Stunden bei längerer Bestrahlung umgekehrt wird. So wird Baryt, welcher anfangs eines der am schnellsten veränderten Mineralien war, schließlich das letzte, während der Quarz vom Maderanertal, welcher anfangs das am langsamsten verfärbte Mineral ist, vor den Baryt und Topas tritt. Ebenso verfärbt sich Kunzit anfangs sehr langsam, färbt sich aber dann plötzlich sehr stark. Es ist daher wahrscheinlich, daß Kunzit, welcher bei dem seinerzeitigen Versuch das erste war, vielleicht auch diesesmal den ersten Platz einnehmen könnte, wenn noch durch einige Wochen weiter bestrahlt worden wäre. Darüber müssen weitere Versuche entscheiden.

---

[1] Das Radium und die Farben. Dresden 1910.

Allerdings ist es auch nicht unmöglich, daß verschiedene Exemplare von Kunzit sich verschieden verhalten. Auch wurde bei früheren Versuchen nicht geglühter entfärbter Kunzit angewandt wie bei den jetzigen Versuchen.

Daß bei Flußspat die Provenienz, also der Fundort, maßgebend ist, wie auch bei Quarz, Baryt und Topas, sahen wir bereits, so daß eine aufzustellende Reihenfolge ja überhaupt nicht allgemein gedacht werden kann, sondern nur für bestimmte Fundorte.

Die Reihenfolge ist nach den neuen Versuchen:

1. Fluorit (Cumberland),
2. Kunzit und Steinsalz von Wieliczka,
3. Saphir (Ceylon),
4. Quarz (Little Falls),
5. Quarz (Maderanertal),
6. Topas (Brasilien),
7. Baryt (Cumberland).

Vergleich von krystallinen Aggregaten und Krystallen.

Es war auch von Wichtigkeit, diesen Vergleich durchzuführen. Das Material war allerdings kein großes, da ich keinen körnigen Topas hatte. Bei den Mineralien Baryt und Steinsalz war kein Unterschied wahrnehmbar. Körniger Quarz verfärbte sich nicht, wie das ja für manche Quarzkrystalle zu trifft.

Versuche mit Pulvern.

Wenn die Ansicht richtig ist, daß die Verfärbung auf einem beigemengten Pigment beruht, so müssen Pulver chemisch reiner Stoffe von der Zusammensetzung der betreffenden Mineralien keine Färbung zeigen. Nun ist allerdings zu erwägen, daß es sehr schwer ist, chemisch ganz reine Stoffe zu erhalten und daß die im Handel als »purissima« bezeichneten Reagenzien immer noch winzigste Mengen von Beimengungen enthalten können. Man kann daher weder im Handel ganz reine Substanzen erwerben, noch sich selbst solche ganz reine Substanzen herstellen. Denn wir wissen, daß es nur Spuren der betreffenden Pigmente sind, welche Färbungen erzeugen können.

Daher ist a priori zu erwarten, daß auch die sogenannten reinen Substanzen eine schwache Färbung aufweisen könnten. Jedoch ist immer die Wahrscheinlichkeit vorhanden, daß bei sehr geringer Verunreinigung die Färbung eine zum mindesten sehr schwache sein wird.

Die ausgeführten Versuche zeigen nun, daß die betreffenden Pulver tatsächlich entweder keine Verfärbung zeigen oder aber eine sehr schwache.

Es wurden behandelt: Chlornatrium, Bariumsulfat, Fluorcalcium, Tonerde, Zirkonerde. Diese wurden mit den Pulvern der Mineralien: Steinsalz, Baryt, Flußspat, Korund und Zirkon verglichen. Wie zu erwarten war, zeigen auch die Mineralpulver eine etwas schwächere Farbe als die Mineralien in Krystallen.

Der Unterschied jedoch dieser Mineralpulver und der analogen chemisch reinen Stoffe ist ein prägnanter.

Flußspat. Flußspat zeigt auch in Pulverform eine entsprechende Farbe, die, wie gesagt, etwas schwächer ist als die der Krystalle. Angewandt wurde Flußspat von Cumberland Er zeigt die Farbe 19^r.

Reines Fluorcalcium war nach 14 Tagen Bestrahlung farblos geblieben.

Chlornatrium. Möglichst reines Chlornatrium zeigte nach 8 Tagen eine ganz schwache Färbung 5^u bis 5^v. Dagegen war Steinsalz von Wieliczka in derselben Zeit (bei gleichzeitiger Bestrahlung) 4^s geworden, also bedeutend stärker. Nach 14 Tagen war Chlornatrium 4^t geworden, also schwächer als Steinsalz nach 8 Tagen.

Bariumsulfat. Baryt wird ungefähr 19^r. Reines Bariumsulfat verblieb unter denselben Umständen vollkommen farblos (Bestrahlungsdauer 14 Tage).

Über den Vergleich von Tonerde habe ich bereits früher berichtet.[1] Es zeigte sich, daß Tonerde nicht gefärbt wird.

Zirkonerde nahm, wie ich 1915 berichtete, eine so geringe Färbung an, daß sie mit der Radde'schen Farbenskala nicht bestimmbar war.

---

[1] Diese Sitzungsberichte, 124, I, 411 (1915).

Diese Beispiele dürften genügen, um zu zeigen, daß die betreffenden chemischen Stoffe entweder im Vergleiche zu den Mineralien viel schwächer Farbe zeigten, wie bei Steinsalz und Zirkonerde, oder aber überhaupt keine Färbung durch Radiumstrahlen erleiden, wie dies bei Aluminiumsesquioxyd, Bariumsulfat, Fluorcalcium etc. der Fall ist.

Aus diesen Versuchen geht daher übereinstimmend mit den Versuchen an Krystallen hervor, daß die Färbung nicht den Stoff des Krystalls, sondern das Pigment betrifft. Damit stimmt auch überein, daß manche Vorkommen, wie früher nachgewiesen, sich nicht verfärben, wie Quarz, Korund, Zirkon, Flußspat u. a. mehr.

Geschwindigkeit der Entfärbung der durch Radiumstrahlen gefärbten Mineralien bei darauffolgender Bestrahlung durch ultraviolette Strahlen.

Es ist bekannt, daß manche Mineralien durch ultraviolette Strahlen jene Färbung wieder verlieren, welche sie bei der Bestrahlung durch Radium erhalten hatten.

Manche Stoffe, welche durch Hitze entfärbt wurden, können auch durch ultraviolette Strahlen wieder ihre Farbe zurückerhalten, doch ist dies kein häufiger Fall. Ich habe dies namentlich bei Saphir und Chrysoberyll beobachtet. Diese Mineralien nehmen aber nicht ihre frühere Färbung wieder an, sondern bekommen eine andere Farbe oder wenigstens eine andere Intensität der Farbe; so wird Saphir nur bläulich, Hyazinth nimmt seine frühere Farbe wieder an.

Die übrigen Mineralien nehmen aber nach Entfärbung durch ultraviolette Strahlen keine Farbe an.

Farblose Mineralien, welche durch Radiumbestrahlung gefärbt wurden, verlieren jedoch ihre Farbe wieder durch Bestrahlung mit ultravioletten Strahlen.

In der nachstehenden Tabelle sind die untersuchten Mineralien in dieser Hinsicht zusammengestellt.

I. Versuchsreihe.

Flußspat.

Fundort	Durch Radiumstrahlen erhaltene Farbe	Bestrahlung mit ultravioletten Strahlen	
		1 Stunde	5 Stunden
Cumberland	21 *d*	21 *f*	21 *f*
Zinnwald	20 *i*	21 *m*	21 *m—r*
Gerstorf	6 *r*	6 *n*	6 *n*
	20 *g*	22 *m*	23 *n*
Cornwll	18 *m*	farblos	—
Derbyshire	18 *c*	23 *c*	21 *c*
Rosenquarz von Bodenmais	41 *o*	unverändert	23 *q*

Die Tabellen zeigen, daß es sich bei der Entfärbung um den umgekehrten Verlauf wie bei der Bestrahlung mit dem Radiumpräparat handelt. Bei dieser verlauft die Verfärbung erst sehr langsam, indem eine Reihe von Stunden vergingen, oft sogar Tage, bis eine Farbe auftrat, dann aber steigt die Intensität der Farbe ziemlich rasch, in manchen Fällen, wie bei Kunzit und Flußspat, sehr schnell.

Das entgegengesetzte zeigt sich bei der Bestrahlung mit ultravioletten Strahlen. Die Farbe verblaßt anfangs sehr rasch, im weiteren Verlaufe der Bestrahlung wird die Veränderung immer geringer und schließlich zeigt die Farbe eine gewisse Stabilität. Es ist allerdings nicht ausgeschlossen, daß bei sehr langer, durch viele Wochen fortgesetzter Bestrahlung die Mineralien wieder, wie es bereits bei mehreren nach 48 Stunden der Fall ist, ganz farblos werden könnten. Aber es ist für einige, wie für Flußspat von Wölsendorf und den grünen Flußspat, nicht wahrscheinlich, weil diese Mineralien jene Farbe annehmen, wie sie in der Natur vorkommt. Da ja auch in der Natur ultraviolette Strahlen, wenn auch nur schwach, wirken, so dürften derartige Färbungen nicht vorkommen, wenn ultraviolette Strahlen die Eigenschaften hätten, die betreffenden Mineralien wieder zu farblosen umzuwandeln.

II. Versuchsreihe.

Mineral	Fundort	Farbe[1]	Dauer der Bestrahlung								Nr.
			20 Min.	55 Min.	4 St.	8 St.	14 St.	22 St.	35 St.	43 St.	
Flußspat	—	16^{l}	16^{n}	17^{o-n}	17^{o-n}	16^{p}	16^{p}	37^{r}	37^{r-q}	37^{q}	27
Quarz	—	40^{r}	40^{s}	—	22^{t}	$40^{q}-22^{s}$	$40^{s}-22^{t}$	40^{t}	40^{u}	—	
Flußspat	Wölsendorf	22^{d}	22^{l}	22^{m}	22^{n-o}	22^{o-p}	22^{o-p}	22^{p}	22^{p-q}	27^{q}	46
Topas	Brasilien	6^{p}	34^{r}	34^{r}	$33^{s}-34^{s}$	40^{s}	40^{t-u}	40^{u}	40^{u-r}	fast farblos	79
»	»	6^{m}	35^{r}	34^{s}	34^{t}	34^{t}	40^{t-u}	40^{u}	40^{u-r}	fast farblos	37
Apatit	Auburn	11^{n}	21^{t}	21^{t}	21^{u}	$40^{u}-21^{u}$	21^{u}	21^{u}	farblos	—	75
Steinsalz	Wieliczka	5^{r}	5^{s}	5^{t}	5^{t}	5^{t-u}	5^{t-u}	6^{u}	6^{u-r}	6^{u-r}	67
»	Aussee	6^{p}	6^{r}	5^{s}	5^{s}	5^{s}	5^{s}	6^{t}	6^{u}	6^{u}	61

[1] Nach der Radiumbestrahlung.

Ich halte es daher für wahrscheinlich, daß auch bei fortgesetzter Bestrahlung die beiden genannten Mineralien nicht ganz farblos werden.

Sehr merkwürdig ist es, daß der Apatit von Auburn eine andere Färbung annimmt, als er sie ursprünglich hatte; er wird schließlich farblos. Bei den übrigen, welche ursprünglich farblos waren und durch Radium erst farbig wurden, wird die ursprüngliche Farblosigkeit wieder hergestellt.

Die Wirkung der ultravioletten Strahlen äußert sich aber nicht nur darin, daß die Intensität der Farbe sich abschwächt, es kann sich, wie dies in mehreren Fällen beobachtet wird, auch eine andere Farbe zeigen, und zwar scheinen die grauen Farben besonders wiederzukehren. Es zeigt sich dies bei dem grünlichen Flußspat, bei Topas und Apatit, während bei dem Wölsendorfer Flußspat, bei Steinsalz nur die Intensität der Farbe sich abschwächt.

Was die Schnelligkeit der Verfärbung anbelangt, so treten schon nach 55 Minuten starke Veränderungen auf, dann verlangsamt sich die Farbenänderung und schließlich bildet sich eine stabile schwache Verfärbung von geringer Intensität heraus, bei manchen tritt nahezu Farblosigkeit auf. Diese würden wahrscheinlich bei lange fortgesetzter Bestrahlung ganz farblos.

Einwirkung von Tageslicht.

Durch Radiumstrahlen gefärbte Mineralien verblassen auch zum Teil bei Tageslicht. Die Veränderung erfolgt jedoch ganz langsam, ist aber nach längerer Zeit oft deutlich. Es betrifft dies aber nicht alle früher geschilderten Mineralien. So zeigten dunkelbraun gefärbte Quarze und blau gefärbte Flußspate keine Veränderung.

In folgenden Fällen war das Verblassen besonders bemerkbar:[1]

Von den früher p. 423 mit ultravioletten Strahlen behandelten Exemplaren wurden grüner Flußspat, violetter (von

---

[1] Eine direkte Einwirkung von Sonnenstrahlen war vermieden worden.

Wölsendorf) und die beiden Steinsalze durch 14 Tage dem Tageslicht ausgesetzt. Der violette Flußspat verblaßte wenig. Steinsalz von Wieliczka Nr. 67 war ganz farblos geworden, während der von Friedrichshall noch etwas gelblich war, sich also kaum mehr verändert hatte.

Ferner wurden einige mit Radium bestrahlte Mineralien ebenfalls zuerst 8 Tage bei Tageslicht belassen. Das körnige Steinsalz, p. 21, war ganz farblos geworden, dagegen ein anderes Nr. 79 von Wieliczka noch gelblich 5^n. Nr. 44 (Kalusz) war entfärbt worden. Quarz von Brasilien Nr. 56 war wenig blässer geworden. Die Farbe veränderte sich von 41^r zu 34^r.

Flußspat von Annaberg (21^r) war blässer violett, ein bläulicher war verblaßt, ein grünlicher auch etwas.

Rosenquarz war nur wenig verändert. Er war 41°. Demnach findet ein allerdings nur schwaches Verblassen statt.

Nach 14 Tagen waren die Steinsalze bis auf Nr. 67 von Friedrichshall farblos geworden. Dieses war noch etwas gelblich, 6^r, allerdings der letzte noch bestimmbare Farbenton.

Flußspat von Appenzell, Ebenau, welcher ursprünglich die Farbe 36^u hatte, also blaß grüngrau, war schließlich wieder ähnlich geworden, nämlich 36^s. Ein anderer Flußspat, Nr. 5, von Wölsendorf, war schließlich 22^r geworden.

Quarz Nr. 56 von Brasilien, welcher oben genannt wurde, war 34^s. Ein Flußspat von Zinnwald war von 20^t zu 16^r geworden.

Ganz merkwürdig ist das Verhalten des Sylvins. Er wird mit Radiumstrahlen schön violblau, entfärbt sich aber binnen 3′ gänzlich bei Tageslicht.

Beziehung zur Luminiszenz.

Bei dieser wissen wir heute genau, daß sie durch die Beimengungen verursacht ist. Ich verweise auf die Arbeiten von P. Lenard und anderer. Speziell das Zinksulfid ist in dieser Hinsicht in den letzten Jahren genau studiert worden, namentlich auch wegen der praktischen Verwendung. Reines Zinksulfid leuchtet nicht, aber ganz verschiedene Beimengungen rufen sie hervor. Dabei ist die Wirkung derselben eine andere, je nachdem man mit ultravioletten, Röntgen-, Kathodenstrahlen

oder Radiumstrahlen arbeitet. In manchen Fällen kann aber die Wirkung der letztgenannten Strahlen auch die gleiche sein.

Was die Mineralien anbelangt, so zeigen die Arbeiten von Engelhardt, daß mit Mineralien von verschiedenen Fundorten bei Anwendung ultravioletter Strahlen die Luminiszenzfarbe verschieden ist. Ähnliches beobachtet man auch mit Radiumstrahlen und Röntgenstrahlen. So verhalten sich verschiedene Scheelite ($CaWO_4$) verschieden und auch verschieden vom reinen Wolframat.

Für die Luminiszenz durch Kathodenstrahlen fand A. Pochettino bei Mineralien verschiedener Fundorte teilweise gleiches Verhalten, teilweise aber auch verschiedenes. Dies ist also analog wie bei der Verfärbung von Mineralien verschiedener Fundorte, wie sie im vorhergehenden geschildert wurde.

Luminiszenz braucht nicht mit der Verfärbung parallel zu gehen. So gibt es stark luminiszierende Mineralien, welche sich nicht verfärben oder nur wenig, z. B. Scheelit, Zinkblende, Diamant, Wollastonit. Dann gibt es wieder Mineralien, wie Steinsalz, Topas, welche sich stark verfärben, ohne Luminiszenzerscheinungen zu zeigen. Endlich gibt es eine Reihe von Mineralien, welche mit Radium- oder Röntgenstrahlen sich stark verfärben und gleichzeitig stark luminiszieren. Dazu gehört der Apatit und Kunzit.

Kunzit, welcher stark luminisziert mit Radiumstrahlen, verfärbt sich auch stark mit Radiumstrahlen, aber merkwürdigerweise nicht mit Röntgenstrahlen. Ein Mineral, welches sehr stark mit beiden Strahlenarten luminisziert, ist der Willemit (oder besser der manganhaltige Troostit). Weder Willemit noch Troostit verfärben sich.

Aus dieser Verschiedenheit muß man schließen, daß die Beimengungen, welche die Luminiszenz hervorrufen, nicht dieselben sein müssen wie jene, welche Verfärbung hervorbringen. Es ist aber dabei nicht ausgeschlossen, daß in manchen Fällen auch die Ursache beider Erscheinungen derselben Beimengung zuzuschreiben ist. Dies halte ich bei Apatit für wahrscheinlich.

Wir kommen jetzt zu der Frage, wo liegt die letzte Ursache der Farbenveränderungen? Wenn wir auch annehmen, daß diese im Pigment vor sich geht, so sind doch noch zwei Möglichkeiten vorhanden. Entweder sind es Vorgänge im Atom der verfärbenden Substanz, also des färbenden Pigmentes, oder es sind Unterschiede in dem Dispersitätsgrade des Pigmentes.

Die Veränderungen werden aber nicht allein durch Radiumstrahlen, beziehungsweise durch Röntgen- und Kathodenstrahlen, sondern auch durch ultraviolette Strahlen sowie auch durch die Wärme hervorgebracht. Dabei ist die vielfach entgegengesetzte Wirkung der Wärmeeinwirkung und der genannten Strahlungen zu berücksichtigen; ferner die entgegengesetzte Wirkung ultravioletter Strahlen.

Ursachen der Verfärbung.

Die wichtigste Frage ist die, welches die Natur der Färbungen ist, d. h. wie die Farbe entsteht. Vor allem muß entschieden werden, ob der Sitz der Verfärbungen im Mineral selbst liegt oder ob das der Mineralsubstanz an und für sich fremde, also als Beimengung gedachte Pigment sich in der Farbe ändert.

Was nun diese Frage anbelangt, so könnte man schon a priori behaupten, daß, da wir ja die betreffenden Mineralien als allochromatische bezeichnen, damit die Annahme verbunden ist, daß die Farbe und also auch die Farbenänderung im Pigment liegt. Es ist aber auch behauptet worden, daß das Pigment aus der Substanz des Minerals entstehen kann. So wurde von R. Strutt die Ansicht geäußert, daß der Hyazinth seine Farbe den Strahlen seiner radioaktiven Substanz verdankt. Daß Färbungen auf diese Art entstehen können, wissen wir aus dem Vorkommen der pleochroitischen Höfe (Halos). Die betreffenden Mineralien müßten aber radioaktiv sein oder fein verteilte Einschlüsse von solcher Substanz enthalten. Bei manchen Stoffen, wie Steinsalz, Quarz, ist dies aber sehr unwahrscheinlich.

Die Entscheidung kann aber getroffen werden, wenn man nachweisen kann, daß die Färbungen bei verschiedenen Exemplaren verschieden ausfallen und sogar bei einem und dem-

selben Individuum (Krystall) verschieden ausfallen. Dies ist aber, wie meine jetzigen Untersuchungen zeigen, wirklich der

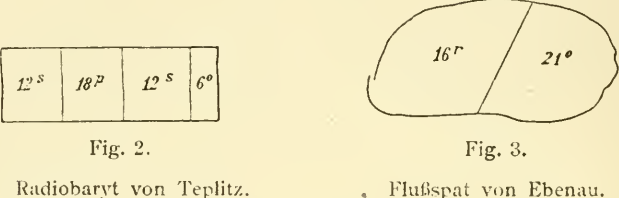


Fig. 2.

Radiobaryt von Teplitz.

Fig. 3.

Flußspat von Ebenau.

Fall. Erstens verhalten sich Krystalle von verschiedenen Fundorten verschieden, zweitens sind Krystalle sogar von dem-

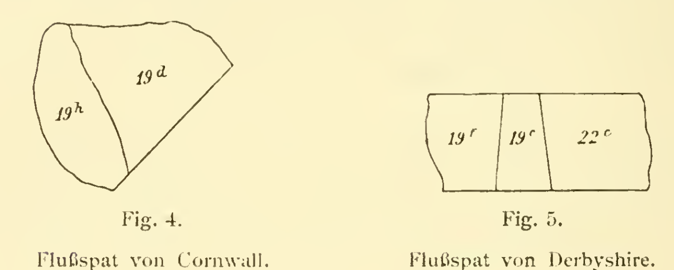


Fig. 4.

Flußspat von Cornwall.

Fig. 5.

Flußspat von Derbyshire.

selben Fundorte manchmal verschieden und drittens zeigen sich an einem und demselben Krystall mitunter verschiedene Farben.

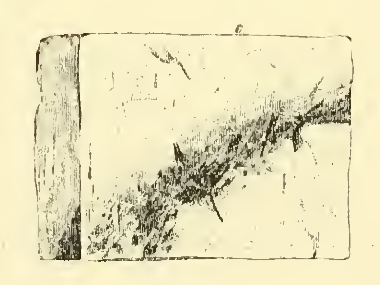


Fig. 6.

Baryt von Cumberland.

Besonders letzteres ist auffallend. Als Beispiele führe ich an: Baryt von Cumberland, Flußspat (vgl. Fig. 2—6) und Quarz vom Maderanertal.

Ich gebe hier die Abbildung eines großen Barytkrystalls (Fig. 6) von dort, bei welchem im Innern eine stark bläulichgraue Farbe sich zeigt, während der übrige Teil nur ganz wenig gefärbt ist. Dies kann nur durch Einschlüsse verursacht sein. Ein zweiter Baryt von dort, ein tafelartiger Krystall, zeigt zwei sehr verschiedene Farben.

Auch bei Flußspat und bei Saphir konnte eine verschiedene Farbe nach der Beleuchtung mit Radiumstrahlen beobachtet werden. Früher habe ich bereits eine Quarzplatte abgebildet, welche regelmäßig verteilte Färbungen aufwies; dies konnte als durch Zwillingskrystalle verursacht gedeutet werden.

Im allgemeinen ist der Fall, daß dunkle Flecken entstehen, in einem Krystall nicht gar selten. Allerdings könnte man sagen, daß der Krystall auch Risse und Sprünge zeigt, auf welchen die Färbung sich deutlicher zeigt. Aber gerade die oben angeführten Beispiele, welche oft eine sehr scharfe Grenzlinie zwischen farbigem Teil und ungefärbtem zeigen, weisen darauf hin, daß es sich um eine ungleiche Verteilung des Farbstoffes handelt.

Es liegen nun zwei Möglichkeiten vor, daher zwei Hypothesen aufgestellt werden können. Nach der einen würde es sich um eine Einwirkung der Strahlen (auch der Wärmestrahlen) auf das Pigment oder auf das Atom (beziehungsweise Molekül) des betreffenden Stoffes handeln oder aber es sind einfach verschiedene Größen des kolloiden Pigmentes in Betracht zu ziehen. Wir haben nun gesehen, daß aus den früher entwickelten Gründen wohl die Wirkung nicht im Atom liegt, sondern im Pigment. Denn sonst müßten Pulver ebenso gefärbt sein wie Krystalle und diese müßten gleichmäßig gefärbt sein.

Immerhin wäre es noch denkbar, daß im Atom des Pigmentes Ionisationen oder andere Vorgänge, welche als Elektronenaustritt charakterisiert wurden, vor sich gehen. Die zweite Annahme, welche sich auf die verschiedenen Farben kolloider Lösungen stützt, nach welcher die Farbe mit dem Dispersitätsgrad wechselt, wird durch die Arbeiten der Physiker,

wie Mie, Ehrenhaft und seine Schüler gestützt (siehe darüber meinen Aufsatz in den »Naturwissenschaften«, 1920).

Ich halte diese Annahme für die hier behandelten Stoffe für wahrscheinlicher, da sie mit den Beobachtungen gut im Einklange steht. Demnach werden durch Strahlungen und durch Wärme die Teilchengröße verändert, wodurch sich Farbenveränderungen erklären ließen.

Immerhin ist jedoch auch die andere Annahme nicht ausgeschlossen. Es scheint, daß ein Krystall durch radioaktive Einschlüsse gefärbt werden kann, wobei vielleicht jene Hypothese Gültigkeit haben könnte.

Vorläufig läßt sich eine Entscheidung nicht treffen. Ich glaube jedoch, daß mit den Beobachtungen die Hypothese, wonach es sich um verschiedene Teilchengröße handelt, besser die Erscheinungen erklären kann.

Daß es sich um kolloide Pigmente handelt, halte ich für erwiesen, da ja idiochromatische Stoffe und namentlich krystallisicrte keine dauernden Veränderungen erleiden. So geht aus den Beobachtungen auch hervor, daß isomorph beigemengte Pigmente sich schwer dauernd verändern.

Der Akademie der Wissenschaften spreche ich für die gewährte Subvention meinen Dank aus.

Herrn Prof. Dr. St. Meyer, welcher mir liebenswürdig die Benutzung der Radiumpräparate gestattete, sowie Herrn Prof. Dr. V. Hess spreche ich hier ebenfalls meinen Dank aus.

Dem Herrn Direktor Koechlin und Herrn Dr. Michel danke ich für Beschaffung des Materials, endlich auch besonders Herrn Privatdozenten Dr. H. Leitmeier für seine mühsame, fortdauernde Mithilfe bei den Beobachtungen.
